

PAT-NO: JP408101025A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 08101025 A

TITLE: METHOD AND INSTRUMENT
FOR MEASUREMENT USING MOIRE METHOD

PUBN-DATE: April 16, 1996

INVENTOR-INFORMATION:
NAME

MATSUMOTO, TETSUYA

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

MATSUMOTO TETSUYA

N/A

HYOGO PREF GOV

N/A

APPL-NO: JP06236358

APPL-DATE: September 30, 1994

INT-CL (IPC): G01B011/24, G06T001/00 ,
G06T007/00

ABSTRACT:

PURPOSE: To provide a measuring method, etc., by which the three-dimensional shape of the surface of an object to be measured can be measured with high accuracy by making the phase shifting method applicable to the Moire method.

CONSTITUTION: A laser beam B is set so that the beam B can get in Moire fringes having one measuring depth by means of optical interferometers BS<SB>1</SB>, M<SB>3</SB>, M<SB>4</SB>, and BS<SB>2</SB> after the beam is enlarged by means of a beam expander L<SB>1</SB> and collimator L<SB>2</SB>. The laser beam formed into a state of interference fringes is split into two laser beams by means of a beam splitter BS<SB>3</SB> and one laser beam B<SB>1</SB> is projected upon the surface of an object O through a phase shifter OP<SB>2</SB>. Then Moire fringes formed on the surface of the object O by projecting the other laser beam B<SB>2</SB> superposing on the beam B<SB>1</SB> and another Moire fringes similarly formed on the surface of the object O by shifting the phase of the Moire fringes by means of a phase shifter OP<SB>2</SB> are detected by means of a photodetector element, and the phase shift between the Moire fringes at the part is obtained by performing

arithmetic operation on the luminance at each point on the photodetector element detected several times and a picture is displayed by means a displaying means based-on the phase shift and position of the photodetector element.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-101025

(43)公開日 平成8年(1996)4月16日

(51)Int.Cl. ⁹	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 B 11/24	E			
G 0 6 T 1/00				
// G 0 6 T 7/00				
			G 0 6 F 15/ 64	M
			15/ 62	4 1 5
			審査請求 未請求	請求項の数6 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平6-236358

(22)出願日 平成6年(1994)9月30日

特許法第30条第1項適用申請有り 平成6年4月4日～
4月8日、社団法人応用物理学学会主催の「国際学術会
議」において文書をもって発表

(71)出願人 594162560

松本 哲也

兵庫県明石市二見町東二見242番地の10

(71)出願人 592216384

兵庫県

兵庫県神戸市中央区下山手通5丁目10番1号

(72)発明者 松本 哲也

兵庫県明石市二見町東二見242番地の10

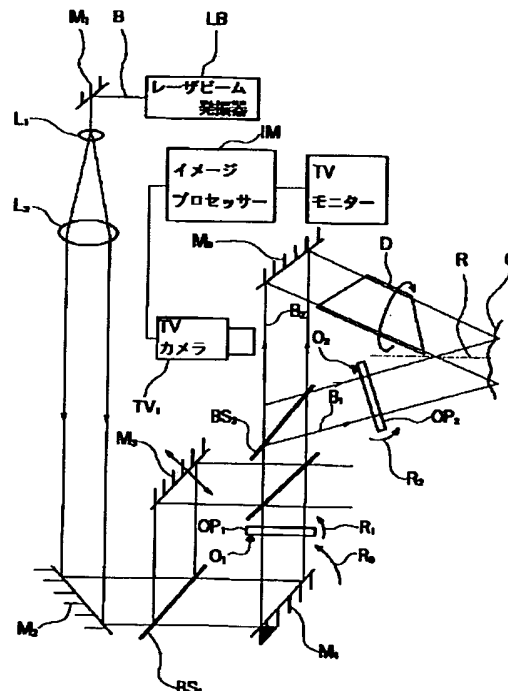
(74)代理人 弁理士 角田 嘉宏

(54)【発明の名称】 モアレ法を用いた計測方法および装置

(57)【要約】

【目的】 「位相シフト法」をモアレ法に適用可能にして対象物の表面の三次元形状を高精度に計測可能な計測方法等を提供することを目的とする。

【構成】 レーザビームBをビームエキスパンダーL₁とコリメータL₂で拡大したものを光学的干渉計BS₁、M₃、M₄、BS₂で計測深さが1つのモアレ縞間に入るように設定し、この干渉縞状のレーザビームをビームスプリッターBS₃で分割し、一方のレーザビームB₁を位相シフターOP₂を介して対象物O表面に照射するとともに、他方のレーザビームB₂を重複させて照射して対象物Oの表面に形成したモアレ縞を受光素子で検出し、位相シフターでモアレ縞の位相をシフトさせた状態で上記同様にモアレ縞を形成して受光素子で各々検出し、複数回検出した受光素子の各点の輝度を演算処理してその部位のモアレ縞の位相のずれφ₁を得、各受光素子の上記位相のずれφ₁とその配置(X, Y)に基づいて表示手段TV₂に画像を描かせる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザビーム発振器から照射したレーザビームをビームエキスパンダーとコリメータを用いて所定照射面積になるよう拡大し、この拡大したレーザビームを光学的干渉計を用いて計測深さが1つのモアレ縞間に入るように干渉縞の大きさを設定し、この干渉計を通過した干渉縞を有するレーザビームをビームスプリッターによって二つに分割し、その一方のレーザビームを位相シフターを介して対象物の表面に照射するとともに、他方のレーザビームをそのまま対象物の表面に重複させて照射することによって対象物の表面にモアレ縞を形成して該モアレ縞を受光素子で検出し、次に適宜回数だけ、上記位相シフターでモアレ縞の位相をシフトさせた状態で同様にモアレ縞を形成して上述のように受光素子で各々検出し、上記複数回検出した受光素子の各点の輝度を演算処理してその部位の深さに該当するモアレ縞の位相のずれ ϕ_1 を得るとともに、各受光素子の位相とその配置に基づいて表示手段に画像を描かせて対象物表面の深さを三次元的に計測することを特徴とするモアレ法を用いた計測方法。

【請求項2】 前記演算処理の内容が、下記の(1)式によって、位相による輝度の変化を示すコサイン曲線を用いて前記位相のずれ ϕ_1 を得る演算処理であることを特徴とする請求項1記載のモアレ法を用いた計測方法。

$$\phi_1 = \tan^{-1} \frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3} \dots (1)$$

【請求項3】 前記他方のレーザビームを対象物の表面に照射するに際し、ドウフェブリズムを通すことによって、対象物の表面上で前記一方のレーザビームと干渉縞の方向を一致させることを特徴とする請求項1又は2記載のモアレ法を用いた計測方法。

【請求項4】 前記光学的干渉計中に傾動可能な平行平面基板を配置して、上記対象物表面に照射される干渉縞を除去することを特徴とする請求項1から3までのいずれか1の項に記載のモアレ法を用いた計測方法。

【請求項5】 レーザビームを発生するレーザビーム発振器と、該レーザビーム発振器が照射したレーザビームを所定照射面積になるよう拡大するビームエキスパンダーとコリメータと、拡大したレーザビームを計測深さが1つのモアレ縞間に入るように干渉縞の大きさを設定する光学的干渉計と、この干渉計を通過した干渉縞を有するレーザビームを二つに分割するビームスプリッターと、その一方のレーザビーム中の干渉縞の位相を変化させて対象物の表面に照射する位相シフターと、上記分割した一方のレーザビームあるいはもう一方のレーザビームを互いのレーザビームが別の方向から照射されるよう照射方向を変更させる反射板と、対象物の表面に形成されたモアレ縞を検出する受光素子と、この受光素子で検出した各素子毎の輝度を複数回分記憶する記憶手段と、

この記憶手段で記憶している各素子毎にその複数回の輝度を演算しこの演算結果に基づいて画像を表示手段に三次元的に描かせる演算手段とを具備することを特徴とするモアレ法を用いた計測装置。

【請求項6】 前記二つに分割した一方のレーザビームともう一方のレーザビームとの干渉縞の方向を一致させるドウフェブリズムを前記二つに分割したいずれかのレーザビームの照射経路に配置したことを特徴とするモアレ法を用いた請求項5記載の計測装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本出願にかかる発明は、レーザビームを用いて粗面物体である対象物表面の三次元形状を高精度に計測する計測方法と計測装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 粗面物体の三次元形状を光学的に精密計測する手法の一つに、モアレ法がある。このモアレ法は、三次元形状を高速に計測できしかも視覚的に表現（視認）できるため、人体形状の測定やディスクの歪みの測定などに利用されている。

【0003】 このモアレ法の一つに、干渉縞を光学的に形成するレーザビームを用いた格子投影型モアレ法があり、この格子投影型モアレ法は、光学的に形成した干渉縞（格子像：スリット状の格子像をいう）を二つのビームに分割して別の方向から計測しようとする対象物の表面に照射することによって、該表面にモアレ縞を発生させ、このモアレ縞の形成状態によりその対象物の三次元形状を計測する。

【0004】 しかし、この場合、計測分解能がモアレ縞の隣接する縞の間隔によって定まり、それ以上の高精度の計測は不可能であった。

【0005】 その一方で、近年、測定精度を向上させるため、白色光によって投影する二つの格子像（スリット状の格子像をいう）のうちの一方を移動することによってモアレ縞の位相をシフトさせ、この位相のシフトを適宜回数だけおこない、これらシフトさせた各画像を演算装置に取り込んで処理することによって、各画像中の各点におけるモアレ縞の位相を高精度に求める方法（以下、位相シフト法という）が提案され、この手法により対象物の三次元形状をより高精度に測定することが可能となっている。

【0006】 このような手法は、格子像を対象物近傍の格子を通過させて干渉縞を形成する実体格子型モアレ法にも適用されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 ところが、この「位相シフト法」がモアレ縞の1周期内でのみ実施できることが必須条件となっており、また、干渉縞の間隔を任意に且つ簡単に計測対象物に合わせて変えることはできないため、対象物の深さがモアレ縞の2周期以上にまたがる

ときには適用できず、従って、この場合には、高精度の計測ができなかった。

【0008】上記位相シフト法を適用している上記実体格子型モアレ法においても、計測しようとする対象物の深さがモアレ縞の1周期内に入るような実体的格子を用意しておく必要があり、対象物の深さに合わせてその都度実体的格子を作成しなければならないという不都合があった。

【0009】本発明は、上記現況に鑑みおこなわれたもので、本発明は、モアレ縞の間隔を任意に変更可能にすることによって上記「位相シフト法」が任意の深さを有する対象物に適用できるようにして、該対象物の表面の三次元形状を高精度に計測可能な、モアレ法を用いた計測方法および計測装置を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本請求項1記載の発明にかかるモアレ法を用いた計測方法は、レーザビーム発振器から照射したレーザビームをビームエキスパンダーとコリメータを用いて所定照射面積になるよう拡大し、この拡大したレーザビームを光学的干渉計を用いて計測深さが1つのモアレ縞間に入るように干渉縞の大きさを設定し、この干渉計を通過した干渉縞を有するレーザビームをビームスプリッターによって二つに分割し、その一方のレーザビームを位相シフターを介して対象物の表面に照射するとともに、他方のレーザビームをそのまま対象物の表面に重複させて照射することによって対象物の表面にモアレ縞を形成して該モアレ縞を受光素子で検出し、次に適宜回数だけ、上記位相シフターでモアレ縞の位相をシフトさせた状態で同様にモアレ縞を形成して上述のように受光素子で各々検出し、上記複数回検出した受光素子の各点の輝度を演算処理してその部位の深さに該当するモアレ縞の位相のずれ ϕ を得るとともに、各受光素子の位相とその配置に基づいて表示手段に画像を描かせて対象物表面の深さを三次元的に計測することを特徴とする。

【0011】そして、上記請求項1記載にかかるモアレ法を用いた計測方法において、上記演算処理の内容が、下記の(1)式によって、位相による輝度の変化を示すコサイン曲線を用いて前記位相のずれ ϕ を得る演算処理であることを特徴とする。

【0012】

$$\phi_1 = \tan^{-1} \frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3} \quad \dots (1)$$

そして、上記請求項1又は2記載にかかるモアレ法を用いた計測方法において、上記他方のレーザビームを対象物の表面に照射するに際し、ドウフェブリズムを通すことによって、前記一方のレーザビームと干渉縞の方向を一致させることができ、実施する場合にモアレ縞を等高線にするための調整が容易になる。

【0013】また、上記請求項1から3までのいずれか1の項に記載にかかるモアレ法を用いた計測方法において、上記光学的干渉計中に傾動可能な平行平面基板を配置すれば、この平行平面基板の傾斜角度を変えながら複数回各受光素子に取り込みその中の最も暗い値(輝度の最低値)を採用することによって、上記対象物表面に形成される不要な干渉縞(ノイズとなる干渉縞)を除去することができるため、後の演算処理が容易になる。

【0014】本請求項5記載の発明にかかるモアレ法を用いた計測装置は、レーザビームを発生するレーザビーム発振器と、該レーザビーム発振器が照射したレーザビームを所定照射面積になるよう拡大するビームエキスパンダーとコリメータと、拡大したレーザビームを計測深さが1つのモアレ縞間に入るように干渉縞の大きさを設定する光学的干渉計と、この干渉計を通過した干渉縞を有するレーザビームを二つに分割するビームスプリッターと、その一方のレーザビームの位相を変化させて対象物の表面に照射する位相シフターと、上記分割した一方のレーザビームあるいはもう一方のレーザビームを互いのレーザビームが別の方向から照射されるよう照射方向を変更させるミラーと、対象物の表面に形成されたモアレ縞を検出する受光素子と、この受光素子で検出した各素子毎の輝度を複数回分記憶する記憶手段と、この記憶手段で記憶している各素子毎にその複数回の輝度を演算しこの演算結果に基づいて画像を表示手段に三次元的に描かせる演算手段とを具備することを特徴とする。

【0015】そして、上記請求項5記載のモアレ法を用いた計測装置において、上記二つに分割した一方のレーザビームともう一方のレーザビームとの干渉縞の方向を一致させるドウフェブリズムを上記二つに分割したいずれかのレーザビームの照射経路に配置すると、二つのレーザビーム中の干渉縞の方向を一致させることが容易となる。

【0016】

【作用】しかして、本請求項1に記載の発明にかかるモアレ法を用いた計測方法によれば、計測しようとする対象物表面の深さ(高さ)に応じてモアレ縞の隣接する縞の間隔を調整し、該対象物表面の深さがモアレ縞の隣接する縞の間に入るようにすれば、上記「位相シフト法」を適用して上記対象物表面の三次元形状を高精度に計測することができる。

【0017】また、本請求項5に記載の発明にかかるモアレ法を用いた計測装置によれば、上記請求項1記載のモアレ法を用いた計測方法を実施することができる。

【0018】

【実施例】以下、本願発明の実施例にかかるモアレ法を用いた計測方法と装置を図面を参照しながら具体的に説明する。

【0019】図1は本願発明の実施例にかかるモアレ法を用いた計測装置の概略の構成を示す構成図である。

【0020】図1において、LBはアルゴンレーザーのレーザービーム発振器、L₁はビームエキスパンダー、L₂はコリメータ、M₁、M₂、M₃、M₅はミラー、M₄は傾動可能に配置されたミラー、BS₁、BS₂、BS₃はビームスプリッター、OP₁、OP₂は傾動可能に配置された平行平面基板、Dはドウフェブリズム、Oは計測しようとする対象物、TV₁は受光素子（この実施例では510×492個の受光素子）を有するテレビジョンカメラ、IMは演算装置であるイメージプロセッサ、TV₂は表示手段であるテレビジョンモニター（ディスプレイ）である。そして、上記ビームスプリッターBS₁、BS₂とミラーM₃、M₄によって光学的干渉計、つまりこの実施例ではマッハ・ツェンダー型干渉計（Mach-Zehnder interferometer）を形成している。

【0021】そして、上記マッハ・ツェンダー型干渉計を形成するミラーM₄とビームスプリッターBS₂の間に、上記平行平面基板OP₁が介装され、この平行平面基板OP₁を、支点O₁を中心に矢印R₁の方向に傾動することによって干渉縞の位相をシフトすることが可能になっている。

【0022】また、上記ミラーBS₃と対象物Oとの間には、上記平行平面基板OP₂が介装され、この平行平面基板OP₂を、支点O₂を中心に矢印R₂の方向に傾動することによって、図8に模式的に図示する鎖線から実線に示すように、モアレ縞の位相をシフトすることが可能になっている。

【0023】そして、図1に図示するように、レーザービーム発振器LBから照射されたレーザービームBは、ミラーM₁で反射して90度屈曲するとともにビームエキスパンダーL₁とコリメータL₂を通過することによって所定の照射面積（この実施例では、直径30mmの照射面積）を有する平行光線状のレーザービームに拡大され、上記ミラーM₂で反射して90度屈曲し、上記マッハ・ツェンダー型干渉計に入る。この干渉計において、上記ミラーM₄の傾きにより所定の間隔の干渉縞、つまり所定の間隔のモアレ縞が形成される。また、この干渉計内に配置されている上記平行平面基板OP₁の傾斜角度を変えながら複数回各受光素子に取り込みその中の最も暗い値（輝度の最低値）を採用することによって、上記対象物表面に形成される不要な干渉縞（ノイズとなる干渉縞）を除去することができる。

【0024】そして、上記マッハ・ツェンダー型干渉計で形成された干渉縞状のレーザービームは、ビームスプリッターBS₃で二つに分割され、一方のレーザービームB₁は、該ビームスプリッターBS₃で所定角度（この実施例では約120度）屈曲し上記平行平面基板OP₂を経て対象物Oに照射される。そして、この平行平面基板OP₂の傾きにより、対象物O表面に形成されるモアレ縞の位相を変えることができる。また、上記二つに分割されたもう一方のレーザービームB₂は、ミラーM₅で

約60度屈曲して、つまり対象物に照射される二つのレーザービームB₁、B₂が該対象物Oの仮想垂線Rに対して等しい角度になるよう照射されるよう屈曲する。

【0025】そして、上記仮想垂線R上の対象物Oから離間した部位には、上記テレビジョンカメラTV₁がセットされ、上記対象物O上に形成されるモアレ縞を受像することができるようになっている。

【0026】そして、上記テレビジョンカメラTV₁は、電気的に上記演算装置IMの入力端子に接続され、この演算装置IMの出力端子は上記テレビジョンモニターTV₂に接続されている。

【0027】しかし、このように構成されたこの計測装置は、以下のように対象物表面の三次元形状を計測することができる。

【0028】まず、この計測装置の電源をONにして、レーザービーム発振器LBからレーザービームBを照射すると、このレーザービームBは上記ビームエキスパンダーL₁とコリメータL₂で所定の照射面積に拡大されて、次に上記干渉計で所定の間隔の干渉縞が形成される。このとき、対象物O表面に等高線となるモアレ縞が形成されるよう、上記ドウフェブリズムDを回転させて、図2に図示するように、レーザービームB₂の干渉縞の方向とレーザービームB₁の干渉縞の方向を一致させる。次に、対象物Oの計測しようとする領域の深さ（最大高さと最小高さの値）がモアレ縞の隣接する縞の間に存在するよう、上記ミラーM₄を矢印R₀方向に傾動させて、モアレ縞の縞の間隔を調整する。具体的には、例えば、図3(a)に図示する1円硬貨の中央部分の四角で囲った部分（図3(c)参照）の三次元形状を計測したい場合、この四角で囲った部分の深さt（図3(b)参照：この実施例では約80μm）が、隣接するモアレ縞の間に入るように、上記ミラーM₄の傾動角度を調節する。この場合、モアレ縞の間隔を149μmに調節した。なお、この四角で囲った部分の寸法は縦が10mm、横が13.3mmである。

【0029】そして、この状態において、上記平行平面基板OP₁の傾斜角度を変えながら複数回各受光素子に取り込みその中の最も暗い値（輝度の最低値）を採用することによって、上記対象物表面に形成される不要な干渉縞（ノイズとなる干渉縞）を除去する。つまり、図4(a)に図示する状態から図4(b)に図示する状態に、モアレ縞以外の干渉縞を除去する。なお、図4は干渉縞の除去状態が明瞭になる球面を測定した場合の干渉縞の除去状態を示している。

【0030】このような図4(b)に図示する状態で、上記テレビジョンカメラTV₁の受光素子で画像の輝度を把握し、この各受光素子の輝度を上記演算装置IMの記憶装置に記録する。この記憶された状態の画像を表すと図5(a)のようになる。

【0031】次に、上記平行平面基板OP₂を傾動させ

て、上記状態から位相をシフト（この実施例では $\pi/2$ だけシフト）させて、上記動作、つまり上記テレビジョンカメラTV₁の受光素子で輝度を把握し、この各受光素子の輝度を上記演算装置IMの記憶装置に記録する。この記憶された各受光素子で構成した画像を表すと図5（b）のようになる。

【0032】さらに、上記状態から位相をシフト（この実施例ではさらに $\pi/2$ だけシフト）させて、上記動作、つまり上記テレビジョンカメラTV₁の受光素子で輝度を把握し、この各受光素子の輝度を上記演算装置IMの記憶装置に記録する。この記憶された各受光素子で構成した画像を表すと図5（c）のようになる。

【0033】続いて、上記状態から位相をシフト（この実施例ではさらに $\pi/2$ だけシフト）させて、上記動作、つまり上記テレビジョンカメラTV₁の受光素子で輝度を把握し、この各受光素子の輝度を上記演算装置IMの記憶装置に記録する。この記憶された各受光素子で構成した画像を表すと図5（d）のようになる。

【0034】このように、位相を最初の状態から、 2π まで、適宜間隔で（この実施例では $\pi/2$ 間隔で）変化させて、それぞれの状態での各受光素子の輝度を上記演算装置IMの記憶装置に記録する。

【0035】そして、上記位相を変化させることによって得た上記各受光素子の輝度に関する一連の値が線上に位置するようなコサイン曲線（図6参照）の位相（モアレ縞の位相）のずれ ϕ_1 を、下記の演算式（1）を用いて得る。

$$\phi_1 = \tan^{-1} \frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3} \quad \dots (1)$$

つまり、各受光素子について、それぞれ記憶装置に記憶している輝度に関する値を用いて上述のような演算をす*

$$\phi_1 = \frac{1}{4} \sum_{i=0}^3 \left(\tan^{-1} \frac{I_{13+i} - I_{5+i}}{I_{1+i} - I_{9+i}} - \frac{\pi}{8} \times i \right) \dots (2)$$

【0042】

【発明の効果】本願発明にかかるモアレ法を用いた計測方法と計測装置によれば、従来のモアレ法あるいは白色光を用いた位相シフト法を用いた計測方法及び計測装置に比べて、極めて簡単に且つ任意の深さのものを、高精度に計測することができる。

【0043】しかも、レーザビームによる平行光を用いているため、投影像の焦点深度が非常に深いため、精密な位置決めが必要でなく、生成されるモアレ縞の間隔が一定であるため、上記深さ的に広範囲の計測が容易に行える。

【0044】また、計測結果を三次元形状で表示できるため、一見して対象物の形状が把握できるという利点がある。もちろん、数値的に形状を表現することもでき ※50

*ることによって、正確な位相（コサイン曲線の最大値（ $\phi=0$ のときの輝度）からの位相のずれ：図6の ϕ_1 参照）を得る。そして、この位相のずれ「 ϕ_1 」が、その受光素子のある部位での対象物表面の深さに対応する。

【0037】そして、この結果に基づいて各受光素子の位置（X、Y）と上記位相（深さ）に基づいて、つまり各受光素子の位置において上記位相のずれ「 ϕ_1 」の値を深さ方向に三次元的に表現すると、図7に図示するようになる。図7において、隣接する線と線の間隔が狭いところは高さの変化が少なく、逆に間隔の大きなところは高さの変化が大きい。

【0038】上記計測装置と上記方法を用いて、図9に図示する板状のものを2枚重ねたものを計測すると、三次元的には図10に図示するようになり、側断面的には図11に図示するようになる。なお、この場合の、測定深さは、 $200\mu\text{m}$ で、モアレ縞の間隔を $410\mu\text{m}$ に調節した。

【0039】このように、本願発明にかかる計測方法と計測装置によれば、最大1mm程度の深さを有するものの三次元形状を自在に且つ高精度に計測することができる。

【0040】ところで、上記実施例では、位相を最初の状態から 2π まで、 $\pi/2$ づつ位相をシフトしているが、これに代えて、図12に図示するように、 $\pi/8$ づつ位相をシフトしてもよく、あるいは任意の位相づつシフトするようにしてもよい。但し、演算処理の観点からは、上記 $\pi/2$ づつ位相をシフトするのが演算が簡単になって好ましい。なお、上記 $\pi/8$ づつ位相をシフトした場合の演算式は下記の（2）を上記（1）式に代えて用いることになる。

【0041】

【数1】

※る。

【0045】しかも、光学的な手法を用いているため、精度が極めて高いにも係わらず、瞬時に計測することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本願発明の実施例にかかるモアレ法を用いた計測装置の概略の構成を示す構成図である。

【図2】 対象物の表面に照射されるレーザビームB₁とB₂の干渉縞の方向を模式的に表した図である。

【図3】 本願発明の実施例における計測対象物である1円硬貨を示す図で、（a）は1円硬貨の計測部位を四角で示した図、（b）は1円硬貨の厚み（深さ）を示す断面図、（c）は（a）の計測部位の四角の寸法を示す図である。

【図4】 対象物の表面に形成される干渉縞とモアレ縞を示す図で、(a)はモアレ縞とともにノイズとなる干渉縞が同時に存在する状態、(b)は(a)の状態から干渉縞の位相をシフトさせて干渉縞を除去した状態を示す図である。

【図5】 本願発明の実施例における対象物である1円硬貨の計測部分をモアレ法によって画像表現した図で、(a)は位相をシフトしない状態における図、(b)は位相を $2/\pi$ シフトした状態における図、(c)は位相を(b)からさらに $2/\pi$ シフトした状態における図、(d)は位相を(c)からさらに $2/\pi$ シフトした状態における図である。

【図6】 図5に示す画像(計測域)のある受光素子(受図6の右上にある計測域を示す図のX、Y点の受光素子)における位相の状態を表す表(グラフ)で、 I_1 は図5の(a)に示す位相での受光素子の輝度、 I_2 は図5の(b)に示す位相での受光素子の輝度、 I_3 は図5の(c)に示す位相での受光素子の輝度、 I_4 は図5の(d)に示す位相での受光素子の輝度を示す。

【図7】 演算処理して得られた対象物の計測結果を三

次元的に表現した図である。

【図8】 位相シフターである平行平面基板 OP_2 を傾動させて位相シフトをおこなった場合の位相シフト状態

を模式的に示す図で、図1とは表裏逆向きに表した図である。

【図9】 他の計測の対象物である板状部材を示す斜視図である。

【図10】 図9に図示する対象物の計測結果を三次元的に表現した図である。

【図11】 図9に図示する対象物の計測結果を側断面図的に表現した図である。

【図12】 図6と異なる位相づつシフトした場合の図6に対応する表(グラフ)である。

【符号の説明】

LB…レーザビーム発振器

L_1 …ビームエキスパンダー

L_2 …コリメータ

BS_1, BS_2, M_3, M_4 …干渉計

BS_3 …ビームスプリッター

OP_2 …平行平面基板(位相シフター)

D…ドウフェブリズム

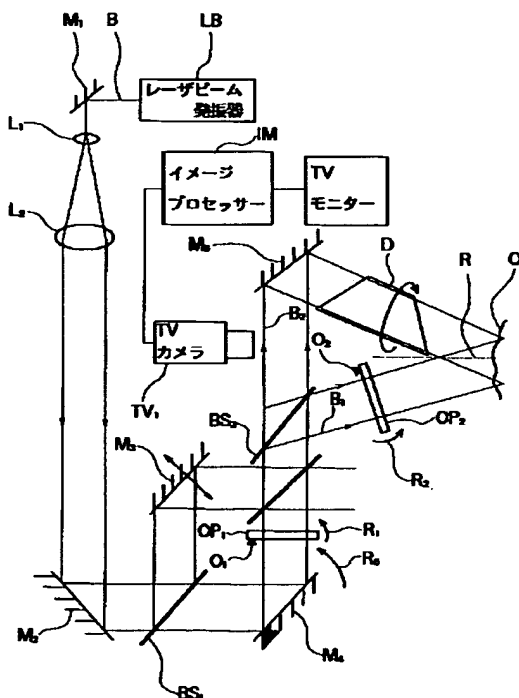
O…対象物

TV₁…テレビジョンカメラ(受光素子)

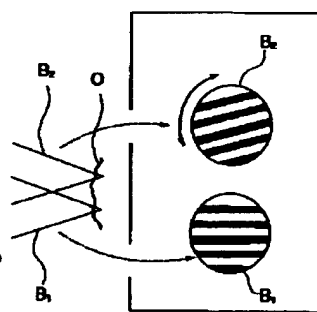
IM…演算装置

TV₂…テレビジョンモニター(表示手段)

【図1】



【図2】



【図3】

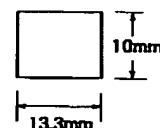
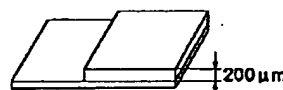


(a)



(b)

【図9】



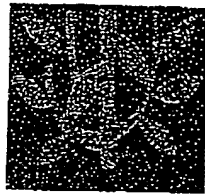
(c)

【図4】



(a)

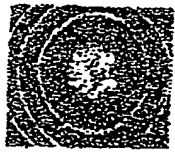
【図5】



(a)



(b)



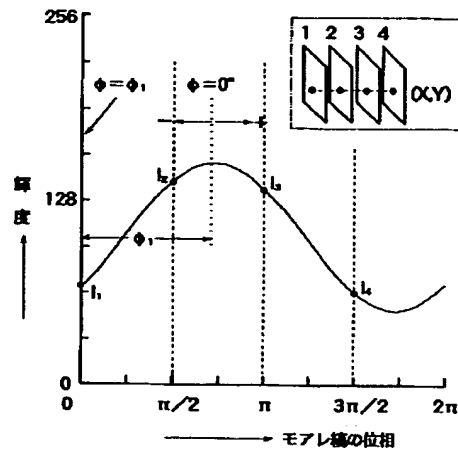
(c)

(b)

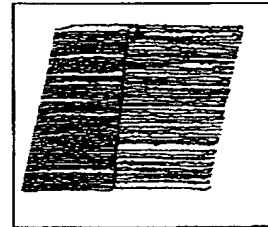


(d)

【図6】



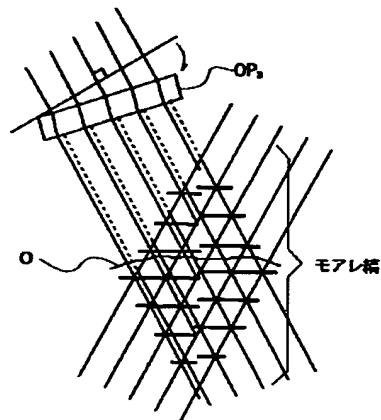
【図10】



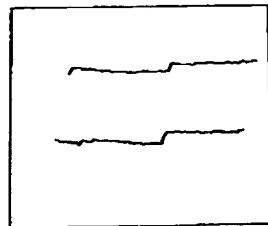
【図7】



【図8】



【図11】



【図12】

